

PENGUJIAN PERFORMANSI GENERATOR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS DARI LIMBAH CAIR PABRIK KELAPA SAWIT

Pryandi Siahaan, M. Natsir Amin dan Surya Tarmizi Kasim

Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)

Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA

e-mail: pryandi_888@yahoo.co.id, mna@usu.ac.id, surya_et@yahoo.com

Abstrak

Kebutuhan akan bahan bakar fosil seperti minyak bumi dari waktu ke waktu terus mengalami peningkatan, terutama untuk pembangkitan tenaga listrik. Namun ternyata cadangan minyak bumi yang ada tidak dapat memenuhi kebutuhan di masa mendatang. Perlu dicari sumber energi alternatif yang dapat dikembangkan sebagai penggantinya. Dari hasil penelitian ternyata biogas berpotensi dijadikan sebagai pengganti bahan bakar fosil, dimana biogas itu sendiri terdiri dari sebagian besar gas CH₄ dan CO₂ yang dihasilkan dari perombakan anaerobik senyawa-senyawa organik seperti dari kotoran ternak, sampah, dan limbah cair pabrik kelapa sawit serta memiliki nilai kalor yang tinggi. Apabila tidak dimanfaatkan dengan baik, senyawa CH₄ dan CO₂ yang terkandung bisa menyebabkan efek rumah kaca yang merugikan manusia. Potensi pengembangan pembangkit listrik tenaga biogas sangat prospektif di Indonesia karena Indonesia merupakan penghasil kelapa sawit terbesar di dunia. Dari hasil pengujian performansi generator pembangkit listrik tenaga biogas di LP3M USU diketahui bahwa tegangan dan frekuensi yang dihasilkan generator hanya mencapai 215 V dan 35 Hz. Hal ini dikarenakan putaran yang dihasilkan motor hanya sebesar 1000-1100 rpm dan belum mampu memutar generator hingga mencapai 1500 rpm.

Kata Kunci: biogas, performansi generator

1. Pendahuluan

Penggunaan bahan bakar fosil dalam setiap kegiatan industri maupun dalam kegiatan harian manusia sudah mulai tergantikan oleh bahan bakar berbasis energi terbarukan. Termasuk dalam proses pembangkitan energi listrik, dimana sudah banyak digunakan pembangkit listrik tenaga biogas. Keuntungan penggunaan bahan bakar biogas sebagai pembangkit listrik sangat banyak, antara lain berkurangnya ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, sumber daya yang tidak akan habis karena berbasis energi terbarukan, dan dapat menghemat pengeluaran perusahaan.

Permasalahannya adalah penggunaan bahan bakar biogas ini belum diketahui keefektifan dan keefisienannya dilihat dari segi daya yang dihasilkan dan proses pembakarannya. Selain itu pembakaran metan juga akan menghasilkan polutan berupa CO₂, dan CO, yang apabila kadarnya cukup besar akan mencemari udara dan berdampak buruk

bagi kesehatan manusia. Apabila poin-poin tersebut menunjukkan bahwa bahan bakar biogas lebih buruk dari bahan bakar fosil, maka penggunaan bahan bakar biogas belum bisa dikatakan baik untuk menggantikan bahan bakar fosil. Untuk itu perlu kajian lebih lanjut untuk menunjukkan bahwa bakar biogas merupakan bahan bakar yang cukup baik untuk menggantikan bahan bakar fosil.

Penelitian yang dilakukan berupa pengujian performansi generator pembangkit listrik tenaga biogas yang ada di LP3M Universitas Sumatera Utara, dimana semua sistem pembangkitan mulai dari proses menghasilkan bahan bakar biogas, penggunaan biogas untuk menghidupkan motor penggerak, hingga dapat menghasilkan listrik berada di sana. Performansi yang diuji pada penelitian ini mencakup pengujian karakteristik daya, pengujian karakteristik SFC, dan pengujian emisi gas buang.

2. Potensi Biogas sebagai Bahan Bakar Pembangkitan Tenaga Listrik

Biogas adalah gas yang dihasilkan oleh aktivitas anaerobik atau fermentasi dari bahan-bahan organik termasuk diantaranya kotoran manusia dan hewan, limbah domestik (rumah tangga), sampah *biodegradable* atau setiap limbah organik yang *biodegradable* dalam kondisi anaerobik. Kandungan utama dalam biogas adalah metana dan karbon dioksida. Secara umum rentang komposisi biogas adalah sebagai berikut:

Tabel 1 Komposisi Gas yang Terdapat Dalam Biogas [1]

Komponen	%
Metana (CH ₄)	55-75
Karbon dioksida (CO ₂)	25-45
Nitrogen (N ₂)	0-0.3
Hidrogen (H ₂)	1-5
Hidrogen sulfida (H ₂ S)	0-3
Oksigen (O ₂)	0.1-0.5

Secara garis besar proses pembentukan biogas dibagi menjadi tiga tahapan, yaitu: [2]

- Tahap Hidrolisis (*Hydrolysis*)
- Tahap Asidifikasi (*Acidogenesis* dan *Acetogenesis*)
- Tahap Pembentukan Gas Metana (*Methanogenesis*)

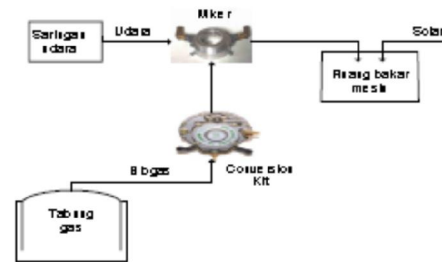
Beberapa penelitian telah berhasil mengungkap potensi nilai energi dari beberapa jenis limbah padat organik kelapa sawit. Kecuali pelepah yang ditumpuk di lapangan dan batang kelapa sawit yang tersedia setiap 20-25 tahun sekali, limbah-limbah tersebut memiliki jumlah dan kesinambungan pasokan yang ajeg dan tempatnya tidak terpecah.

Secara nasional terdapat sekitar 205 Pabrik Kelapa Sawit (PKS) di Indonesia di mana sekitar 86 persen berada di luar Jawa. Produksi tandan buah segar (TBS) tahun 2004 diperkirakan mencapai 53,8 juta ton dan limbah padat organik berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebesar 12,4 juta. Oleh karena nilai energi panas (*calorific value*) dari TKKS sebagai bahan bakar generator listrik dapat mencapai 18.796 kJ/kg, maka energi yang dihasilkan dapat dikonversikan menjadi listrik dengan jumlah yang cukup signifikan. Sebagai ilustrasi, sebuah PKS dengan kapasitas 200 ribu ton TBS per tahun menghasilkan 44 ribu ton

TKKS (kadar air 65 persen) yang mampu membangkitkan energi ekuivalen dengan 2,3 MWe (*megawatt-electric*) pada tingkat efisiensi konversi 25 persen [3].

Potensi biogas yang dapat dihasilkan dari pengolahan limbah cair juga sangat menjanjikan. Dari 600-700 kg limbah cair dapat diproduksi sekitar 20 meter kubik biogas. Dengan mengacu pada data produksi tahun 2004, limbah cair yang dihasilkan diperkirakan mencapai 37.633 juta ton. Volume yang luar biasa besarnya ini bisa menghasilkan biogas mencapai 1.075 juta meter kubik. Jika nilai kalor biogas rata-rata berkisar antara 4.700-6.000 kkal/m³ atau 20-24 MJ/m³, maka produksi biogas sebesar itu setara dengan 516 ribu ton gas LPG, 559 juta liter solar, 665,5 juta liter minyak tanah, atau 5.052,5 MWh listrik. Ini tentu bukan nilai yang dapat hanya dipandang sebelah mata [3].

Ada beberapa metode untuk mengubah mesin diesel menjadi berbahan bakar gas, salah satunya dengan cara menambahkan conversion kit dan mixer. Fungsi conversion kit adalah untuk mengatur debit dan menurunkan tekanan aliran bahan bakar sesuai dengan tekanan operasional yang diinginkan sedangkan mixer berfungsi sebagai pencampur bahan bakar dengan udara. Pemasangan mixer terletak pada saluran masuk udara dan conversion kit terpasang antara mixer dan tabung gas (Gas holder).



Gambar 1 Skema Pemasangan Mixer dan Conversion Kit pada Mesin Diesel [4]

3. Pengujian Performansi Generator Pembangkit Listrik Tenaga Biogas

Performansi yang diukur dalam pengujian ini berupa pengujian karakteristik daya, pengujian karakteristik Specific Fuel Consumption (SFC) dan pengujian karakteristik emisi gas buang.

a. Pengujian Karakteristik Daya

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik daya atau parameter besaran-besaran yang dihasilkan generator dengan beban dan volume gas yang berbeda.

b. Pengujian Karakteristik Specific Fuel Consumption (SFC)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik konsumsi bahan bakar spesifik generator pembangkit listrik tenaga biogas. Rumus untuk mencari SFC adalah sebagai berikut:

$$SFC = \frac{mf}{P_G}$$

Dimana:

SFC = Specific Fuel Consumption (L/watt.jam)

mf = Laju Aliran Bahan Bakar (L/jam)

P_G = Daya yang dihasilkan generator (watt)

$$mf = \frac{sg_f \times V_f}{t_f} \times 3600$$

V_f = volume biogas (6 bar = 600 L; 2 bar = 200 L; 1 bar = 100 L)

sg_f gas metan = 0,554

t_f = waktu yang dibutuhkan hingga bahan bakar habis (detik)

c. Pengujian Karakteristik Emisi Gas Buang

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik emisi gas buang dari generator pembangkit listrik tenaga biogas dan dampak bagi lingkungan.

4. Data Hasil Pengujian dan Pembahasan

Dari hasil pengujian beberapa karakteristik yang dilakukan, didapat data dan grafik serta pembahasannya, antara lain:

a. Pengujian Karakteristik Daya

Data hasil pengujian karakteristik daya dapat kita lihat pada tabel berikut:

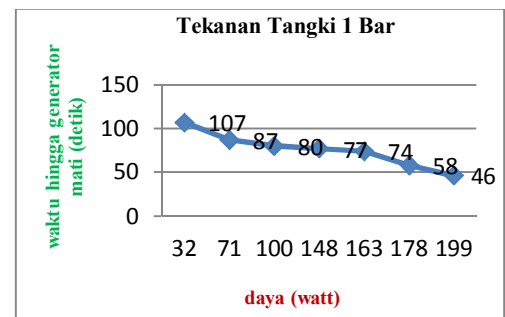
Tabel 2 Hasil Pengujian Karakteristik Daya dengan Tekanan Tangki 1 Bar

No.	Tegangan (V)	Arus (A)	Frekuensi (Hz)	Daya (W)	Putaran Motor Penggerak (rpm)	Waktu Hingga Bahan Bakar pada Kompresor Habis (detik)
1.	140	0.27	35	32	1000	107
2.	140	0.62	35	71	1000	87
3.	140	0.87	35	100	1000	80
4.	140	1.23	35	148	1000	77
5.	140	1.41	35	163	1000	74
6.	140	1.44	35	178	1000	58
7.	140	1.74	35	199	1000	46

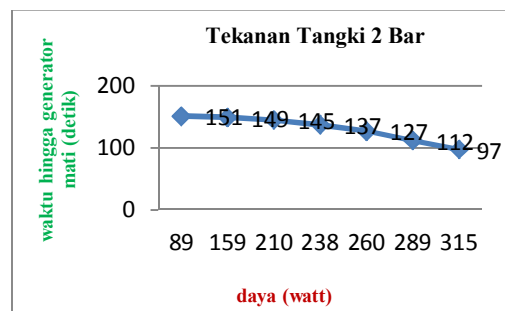
Tabel 3 Hasil Pengujian Karakteristik Daya dengan Tekanan Tangki 2 Bar

No.	Tegangan (V)	Arus (A)	Frekuensi (Hz)	Daya (W)	Putaran Motor Penggerak (rpm)	Waktu Hingga Bahan Bakar pada Kompresor Habis (detik)
1.	215	0.65	35	89	1100	151
2.	215	0.73	35	159	1100	149
3.	215	1.15	35	210	1100	145
4.	215	1.37	35	238	1100	137
5.	215	1.58	35	260	1100	127
6.	215	1.72	35	289	1100	112
7.	215	2.01	35	315	1100	97

Dari data yang dihasilkan, dapat digambarkan grafik karakteristik daya:



Gambar 2 Grafik Pengujian Karakteristik Daya Tekanan Tangki 1 Bar



Gambar 3 Grafik Pengujian Karakteristik Daya Tekanan Tangki 2 Bar

Dari data yang ditunjukkan oleh tabel 2 dan tabel 3, diketahui bahwa untuk tekanan tangki sebesar 1 bar, tegangan rata-rata dari setiap pembebanan yang mampu dihasilkan hanya sebesar 140 volt. Frekuensi rata-rata yang dihasilkan juga hanya mencapai 35 hertz. Sedangkan untuk tekanan tangki sebesar 2 bar, tegangan rata-rata yang dihasilkan mencapai 215 volt dan frekuensi rata-rata sebesar 35 hertz. Sedangkan daya maksimum yang dihasilkan melalui pengujian modul mencapai 199 watt untuk tekanan tangki 1 bar, dan 315 watt untuk tekanan tangki 2 bar. Namun data hasil pengukuran daya yang terbaca pada wattmeter, tidak sama dengan nilai daya yang dihasilkan dari persamaan daya $P = V \times I \times \cos \phi$, dimana nilai $\cos \phi$ untuk lampu pijar hampir mendekati 1. Terdapat error alat ukur sebesar 50-80%. Hal ini dikarenakan wattmeter yang digunakan adalah wattmeter yang sudah tua dan sudah lama tidak dikalibrasi.

Data-data hasil percobaan baik daya, tegangan, arus dan frekuensi menunjukkan nilai yang tidak konstan dan fluktuatif yang diakibatkan oleh sistem pengkoplingan antara motor bakar penggerak generator dan generator itu sendiri kurang sempurna di mana menggunakan sistem *belting* roda gigi yang menggunakan tali karet yang pergerakannya tidak konstan. Hal ini akan mengakibatkan kerusakan pada peralatan elektronik bila dihubungkan ke sumber tegangan generator tersebut untuk jangka waktu pemakaian yang lama. Apabila dipergunakan sistem pengkoplingan yang baik, generator tersebut dapat menghasilkan kualitas daya yang lebih baik, dan dapat dipergunakan sebagai sumber tenaga listrik yang dapat berguna minimal untuk sistem penerangan.

b. Pengujian Karakteristik Spesific Fuel Consumption (SFC)

Data hasil pengujian karakteristik SFC dapat dilihat pada tabel berikut ini:

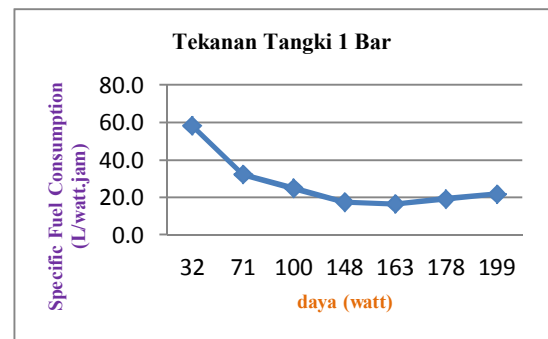
Tabel 4 Hasil Pengujian Karakteristik SFC Dengan Tekanan Tangki 1 Bar

No.	sgr	V _r (L)	t _r (detik)	m _r (L/jam)	P _G (watt)	SFC (L/watt.jam)
1.	0,554	100	107	1863.9	32	58.2
2.	0,554	100	87	2292.4	71	32.3
3.	0,554	100	80	2493.0	100	24.9
4.	0,554	100	77	2590.1	148	17.5
5.	0,554	100	74	2695.1	163	16.5
6.	0,554	100	58	3438.6	178	19.3
7.	0,554	100	46	4335.7	199	21.8

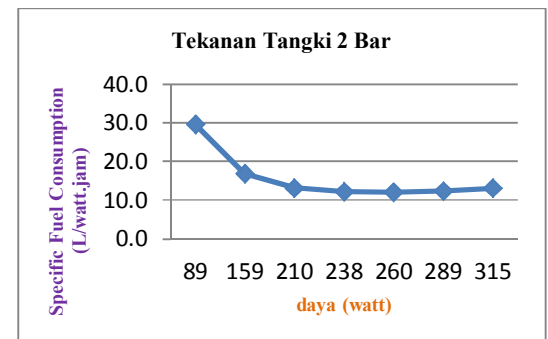
Tabel 5 Hasil Pengujian Karakteristik SFC Dengan Tekanan Tangki 2 Bar

No.	sgr	V _r (L)	t _r (detik)	m _r (L/jam)	P _G (watt)	SFC (L/watt.jam)
1.	0,554	200	151	2641.6	89	29.7
2.	0,554	200	149	2677.0	159	16.8
3.	0,554	200	145	2750.9	210	13.1
4.	0,554	200	137	2911.5	238	12.2
5.	0,554	200	127	3140.8	260	12.1
6.	0,554	200	112	3561.4	289	12.3
7.	0,554	200	97	4112.2	315	13.1

Dari data yang dihasilkan, dapat digambarkan grafik karakteristik SFC:



Gambar 4 Grafik Pengujian Karakteristik SFC Tekanan Tangki 1 Bar



Gambar 5 Grafik Pengujian Karakteristik SFC Tekanan Tangki 2 Bar

Dari data yang ditunjukkan oleh tabel 4 dan tabel 5, diketahui bahwa bentuk grafik yang dibentuk untuk tekanan tangki 1 bar dan 2 bar hampir sama. Konsumsi bahan bakar paling hemat terjadi pada beban 163 watt untuk tekanan tangki 1 bar, dan 260 watt untuk tekanan tangki 2 bar.

Namun nilai-nilai SFC tersebut terlalu besar untuk penggunaan daya yang tidak terlalu besar. Hal ini disebabkan oleh adanya kebocoran pada tangki kompresor sehingga gas yang tertampung pada tangki banyak berkurang dan mengakibatkan waktu yang dibutuhkan sampai generator mati pada setiap pembebanan juga semakin cepat. Hal itu juga berpengaruh

terhadap nilai SFC dimana nilainya juga semakin besar. Hal ini perlu menjadi perhatian khusus karena dapat mengakibatkan terjadinya pemborosan penggunaan bahan bakar dan ledakan yang tidak disengaja akibat percikan api yang menyambar bahan bakar yang bebas akibat kebocoran. Secara umum nilai SFC biogas lebih besar dari bahan bakar lain seperti bensin, solar, dan sebagainya. Namun harga biogas yang murah menjadi kelebihan tersendiri, yaitu sekitar 500-700 Rupiah/kWh. Sehingga untuk penggunaan biogas dalam jumlah yang besar tidak menimbulkan kerugian yang lebih besar dari penggunaan bahan bakar lain.

c. Pengujian Emisi Gas Buang

Data hasil pengujian emisi gas buang dapat dilihat dalam tabel berikut ini:

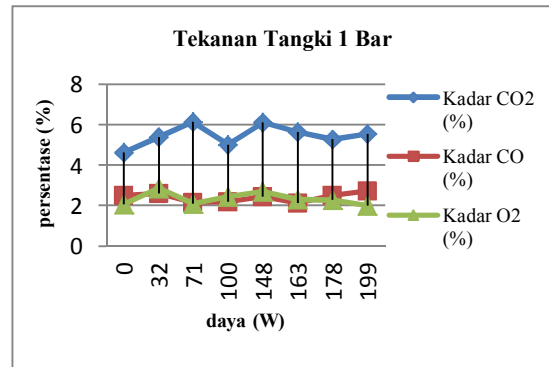
Tabel 6 Hasil Pengujian Emisi Gas Buang Dengan Tekanan Tangki Kompresor Sebesar 1 Bar

No.	Daya (W)	Kadar CO ₂ (%)	Kadar CO (%)	Kadar O ₂ (%)	HC (ppm)	NO _x (ppm)
1.	0	4.64	2.51	2.08	170	2.75
2.	32	5.41	2.61	2.86	181	2.70
3.	71	6.13	2.15	2.09	183	2.45
4.	100	5.02	2.20	2.45	181	2.90
5.	148	6.11	2.46	2.68	186	2.40
6.	163	5.64	2.13	2.31	185	2.28
7.	178	5.27	2.51	2.28	189	3.28
8.	199	5.54	2.73	2.02	188	2.75

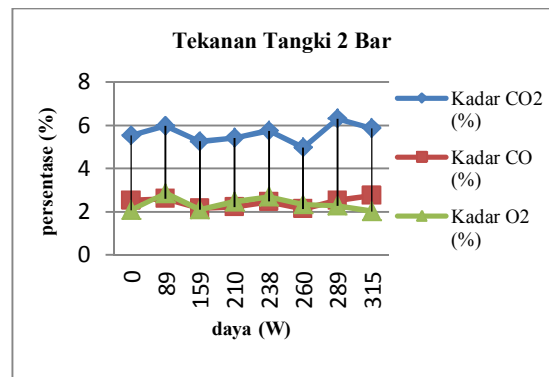
Tabel 7 Hasil Pengujian Emisi Gas Buang Dengan Tekanan Tangki Kompresor Sebesar 2 Bar

No.	Daya (W)	Kadar CO ₂ (%)	Kadar CO (%)	Kadar O ₂ (%)	HC (ppm)	NO _x (ppm)
1.	0	5.53	2.73	2.12	188	2.75
2.	89	5.98	2.92	2.19	183	2.40
3.	159	5.26	2.82	2.07	190	2.67
4.	210	5.42	3.32	2.09	175	3.33
5.	238	5.74	2.93	2.58	187	2.67
6.	260	4.98	3.08	2.65	183	2.40
7.	289	6.31	3.37	1.98	178	2.20
8.	315	5.86	2.93	2.31	189	2.35

Dari hasil pengujian emisi gas buang, dapat digambarkan grafik kandungan emisi gas buang (CO₂, CO, dan O₂):



Gambar 6 Grafik Emisi Gas Buang Untuk Tekanan Tangki 1 Bar



Gambar 7 Grafik Emisi Gas Buang Untuk Tekanan Tangki 2 Bar

Reaksi pembakaran dari gas metan adalah: $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$. Hasil pembakaran dari rumus kimia tersebut menghasilkan CO₂ dan H₂O. Namun dari hasil pengujian emisi motor bahan bakar gas metan (biogas), didapat senyawa-senyawa lain yaitu CO, O₂, NO_x, dan CH. Gas-gas emisi sisa pembakaran ini memiliki nilai-nilai ambang batas ideal yang aman bagi manusia.

Pembakaran yang sempurna menghasilkan nilai CO₂ yang relatif tinggi. Nilai ambang batas minimal dari CO₂ adalah 12%, sedangkan dari data yang ditunjukkan oleh tabel 6 dan tabel 7, menunjukkan persentase CO₂ yang kurang dari 12%. Bila kadar CO₂ harus tinggi maka O₂ sebaliknya harus rendah karena udara merupakan komponen penting dalam proses pembakaran. Nilai O₂ idealnya berada di rentang 0,5 – 2%. Dari hasil pengujian, nilai rata-rata O₂ yang dihasilkan adalah lebih dari 2%. Hal ini menunjukkan bahwa pembakaran yang terjadi kurang sempurna.

Nilai ambang batas maksimum untuk gas CO adalah 2,5%, sedangkan dari data hasil

pengujian, nilai rata-rata gas CO yang dihasilkan kurang dari 2,5 %. Hal ini menunjukkan bahwa kadar CO yang dihasilkan masih memenuhi standard keamanan. Perlu diketahui bahwa gas CO merupakan gas yang berbahaya yang dapat mengakibatkan kematian pada manusia bila terhirup dalam jumlah yang cukup besar.

Kadar CH (hidro karbon) yang tinggi diakibatkan oleh sistem pengapian yang tidak sempurna. Penyebabnya bisa berasal dari kabel busi, koil, hingga busi. Selain itu kerak yang menumpuk, waktu pengapian yang tidak tepat, dan piston yang sudah aus dapat menyebabkan kadar CH tinggi. Nilai ambang batas maksimum CH adalah 200 ppm, sedangkan dari data hasil pengujian nilai rata-rata HC di bawah 200 ppm dan masih dalam batas normal.

5. Kesimpulan

Dari hasil pengujian, dapat dihasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai parameter-parameter yang ditunjukkan dari hasil pengujian generator berupa tegangan dan frekuensi belum menunjukkan nilai yang standard sesuai dengan spesifikasi PLN dan peralatan elektronik yang beredar di pasaran, sehingga dapat mengakibatkan kerusakan pada alat-alat tersebut apabila dipergunakan sebagai sumber tenaga listrik dalam waktu yang lama.
2. Dari hasil pengukuran, putaran motor penggerak hanya mencapai putaran 1100 rpm dan belum mampu membuat generator berputar sebesar 1500 rpm, sehingga dari rumus $n = \frac{120f}{p}$ dan $e = c.n.\Phi$, frekuensi dan tegangan yang dihasilkan tidak dapat mencapai 50 Hz dan 220 V.
3. Nilai SFC hasil pengujian menunjukkan nilai yang cukup besar yang diakibatkan adanya kebocoran pada tangki kompresor.
4. Pengujian emisi motor bahan bakar biogas menunjukkan adanya parameter-parameter yang tidak sesuai standard yang berlaku, seperti kadar CO₂ dan O₂ yang menunjukkan bahwa pembakaran belum sempurna, dan ada yang sudah sesuai standard seperti kadar CO dan CH yang aman bagi manusia.
5. Sistem pembangkitan tenaga listrik menggunakan bahan bakar biogas di

LP3M USU apabila diperbaiki dan dikembangkan dapat menghasilkan kualitas listrik yang lebih baik dan kontinu, serta dapat dipakai untuk memenuhi kebutuhan listrik di sekitar area pembangkit.

6. Pembangkitan tenaga listrik pada pabrik kelapa sawit menggunakan bahan bakar biogas dari limbah cair maupun padat dapat sangat efektif dan efisien untuk dikembangkan apabila diinstal dengan mempertimbangkan keamanan dan sesuai prosedur tertentu mengingat pabrik dapat mengurangi biaya produksi untuk sistem kelistrikan dan pemurnian limbah.

6. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada R. Siahaan dan T. Silalahi selaku orang tua penulis yang sudah membiayai penulis, Ir. M Natsir Amin, MM dan Ir. Surya Tarmizi Kasim, M.Si selaku dosen pembimbing, juga Ir. Eddy Warman dan Ir. Syamsul Amin, M.Si selaku dosen penguji penulis yang sudah membantu penulis dalam menyelesaikan paper ini, serta teman-teman penulis yang sudah memberikan dukungan selama pembuatan paper ini.

7. Daftar Pustaka

- [1].<http://id.wikipedia.org/wiki/Biogas>
- [2].http://en.wikipedia.org/wiki/Anaerobic_digestion
- [3].Goenadi, Didiek Hadjar. 2006. *Berburu Energi di Kebun Sawit*
- [4].Wahyu Panuntun, Wiji Setia Alam & Nazruddin Sinaga. 2004. *Pemilihan Mesin Penggerak Generator Pada Sistem Pembangkit Tenaga Biogas*. UNDIP